

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**РАЧОК ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ**



УДК 664.653.1

**НАУКОВІ ТА ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОГО ЗАМІШУВАННЯ  
ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА В ТІСТОМІСИЛЬНИХ МАШИНАХ  
БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ**

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та  
фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій  
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
**Теличкун Володимир Іванович**  
Національний університет харчових технологій МОН  
України, професор кафедри машин і апаратів харчових та  
фармацевтичних виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Стадник Ігор Ярославович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя МОН України, професор кафедри  
обладнання харчових технологій

кандидат технічних наук, доцент  
**Василів Володимир Павлович,**  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України МОН України, доцент  
кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК

Захист відбудеться «20» березня 2019 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «18» лютого 2019 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02,  
к.т.н., доцент



Літвинчук С. І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Інтенсифікація процесу замішування пшеничного дріжджового тіста на існуючих тістомісильних машинах безперервної дії майже неможлива, тому актуальною задачею є створення тістомісильних машин безперервної дії з інтенсивним процесом замішування. З інженерних і технологічних міркувань, у тістомісильних машинах оптимальна конфігурація робочого органу і частота обертання забезпечують інтенсифікацію процесу замішування. Питання розробки та впровадження нових технологій, конструкцій робочих органів, підвищення продуктивності та покращення якості готової продукції, обумовлює актуальність та перспективи наукової роботи.

Застосування машин рівномірно-поточної дії з високопродуктивними робочими органами, дозволить механізувати та автоматизувати виробничі процеси, виключити використання людської праці, зменшити енерговитрати, забезпечити високу якість та стабільність готових виробів.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми, є розробка нового високотехнологічного обладнання і застосування нових робочих органів для замішування дріжджового тіста.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Результати науково-дослідної роботи з дослідження процесу замішування дріжджового тіста, виконано згідно планів кафедральних держбюджетних науково-дослідних робіт НУХТ на тему: «Інтенсифікація технологічного процесу з метою створення високоефективного обладнання харчових мікробіологічних і фармацевтичних виробництв» (шифр держреєстрації 0217U007265) у межах наукового напрямку «Розробка наукових основ тепломасообмінних та інших робочих процесів харчових виробництв, з метою створення нового високоефективного обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових і переробних галузей АПК» (код виду н/т діяльності 1.216.18 за КВНТД) впроваджені у навчальний процес кафедри машин і апаратів харчових і фармацевтичних виробництв. Робота, виконана в період з 14.11.2014 по 04.12.2017 на кафедрі машин і апаратів харчових і фармацевтичних виробництв під керівництвом В.І. Теличука, відповідає Закону України від 12 жовтня 2010 р. № 2623-14 «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки».

**Мета і завдання досліджень.** Метою дисертаційної роботи є дослідження процесу замішування пшеничного дріжджового тіста, наукове і технічне обґрунтування застосування ефективних конструкцій робочих органів для забезпечення безперервного замішування дріжджового тіста, а саме:

- провести технічний аналіз існуючого обладнання і конструкцій робочих органів для замішування дріжджового тіста;
- визначити тривалість стадій за трьох стадійною моделлю замішування дріжджового тіста;
- дослідити вплив частоти обертання і вологості на процес замішування дріжджового тіста;
- дослідити реологічні характеристики дріжджового тіста під час замішування;

- визначити витрати питомої роботи під час замішування безперервними робочими органами різної конфігурації та їх вплив на якість готових виробів;
- визначити вплив робочих органів різної конфігурації на інтенсифікацію процесу замішування і зміну продуктивності;
- дослідити рівномірність розподілення компонентів дріжджового тіста, після замішування робочими органами різної конфігурації;
- визначити зміну об'єму тістових заготовок і якості готових виробів після замішування робочими органами різної конфігурації;
- на основі експериментальних досліджень сформулювати математичну модель та провести імітаційне параметричне моделювання процесу замішування дріжджового тіста з використанням кулачкових робочих органів;
- розробити конструкцію кулачкового робочого органу і тістомісильної машини безперервної дії в складі змішувально-бродильно-формуальному агрегаті, удосконалити схему виробництва хлібобулочних виробів.

*Об'єкт досліджень* – процес замішування пшеничного дріжджового тіста.

*Предмет досліджень* – параметри процесу замішування пшеничного дріжджового тіста в тістомісильних машинах безперервної дії.

**Методи дослідження.** Дисертаційна робота базується на виконанні досліджень методами фізичного експерименту та імітаційного моделювання. Дослідження процесу замішування дріжджового тіста здійснювали за допомогою розроблених, дослідних установок, періодичної та безперервної дії та за допомогою високотехнологічних лабораторних приладів: Farinograph®-AT, ротаційного віскозиметра РЕОТЕСТ 2, оптичного мікроскопа BIOREX-3, а також сучасних, допоміжних, інструментів вимірювання.

Оброблення експериментальних даних і розрахунки виконувалися із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD 15, Компас-3DV16, ImageJ, Microsoft Office. Імітаційне моделювання виконували за допомогою сертифікованих пакетних комплексів GiPex 3D V17 і Flow Vision.

Властивості дріжджового тіста і готового виробу, визначали за стандартними методиками, згідно вимог і рекомендацій харчової промисловості.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розробленні методів і засобів впливу посиленої механічної обробки, впливу робочих органів різної конфігурації на структурно-механічні показники дріжджового тіста і якості готового виробу. На основі виконаних комплексних теоретичних і експериментальних досліджень отримано нові наукові результати:

- встановлено тривалість стадій, в трьох стадійній моделі замішування дріжджового тіста в залежності від частоти обертання робочого органу і вологості тіста;
- встановлено, що тривалість першої та другої стадії замішування суттєво залежить від витрат енергії, зі збільшенням витрат енергії скорочується тривалість замішування;
- запропонований метод визначення рівномірності розподілення компонентів у структурі дріжджового тіста після замішування;

- визначено шляхи інтенсифікації процесу замішування за рахунок зміни конструктивних параметрів кулачкових робочих органів;
- визначено вплив витрат питомої роботи на формування пористості готових виробів, отримано кількісні характеристики;
- вперше на основі імітаційного параметричного моделювання досліджено процес замішування дріжджового тіста в залежності від частоти обертання і відстані між кулачковими робочими органами;
- вперше одержано залежності зміни швидкості, тиску і в'язкості в камері замішування з використанням кулачкових робочих органів, за якими можна визначити конструктивні параметри робочих органів.

**Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що:**

- розроблені методики по визначенню рівномірності розподілення компонентів у дріжджовому тісті та визначенню чисельної кількості пор у готовому виробі;
- на основі проведених досліджень розроблені кулачкові робочі органи для безперервного замішування дріжджового тіста;
- запропонована високоінтенсивна тістомісильна машина безперервної дії, в складі конструкції змішувально-бродильно-формуального агрегату для приготування дріжджового тіста;
- тістомісильна машина, з кулачковими робочими органами, пройшла дослідно-виробничу перевірку у виробничих умовах на пекарні «Веселий пекар», м. Львів. Підтверджено актом впровадження;
- результати досліджень впроваджені у навчальний процес Національного університету харчових технологій і використовуються на лабораторних заняттях з дисциплін "Технологічне обладнання галузі", "Технологічне обладнання харчових виробництв" для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування», Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування», а також в лабораторних, курсових, дипломних роботах, і наукових роботах студентів, магістрів, аспірантів.

**Особистий внесок здобувача.** Аналіз основних теоретичних положень, написання методик проведення фізичних експериментів і математичного моделювання процесу замішування пшеничного дріжджового тіста розроблені у співавторстві з науковим керівником к.т.н., проф. Теличкуном Володимиром Івановичом.

Автором особисто: підготовлено експериментальні установки, проведені фізичні експерименти та за допомогою комп'ютерного устаткування проведено імітаційне параметричне моделювання процесу замішування дріжджового тіста, спроектовані геометричні моделі робочих органів; виконані обчислювальні експерименти, виконано оброблення і узагальнення результатів фізичних і обчислювальних експериментів. Розроблені рекомендації по підвищенню інтенсифікації процесу замішування і підвищенню якості готових виробів.

Публікації: проведення експериментальних досліджень, опрацювання і узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до публікації [2–9,17–23,26,27,30–35,37–39,41–45], проведення літературного пошуку, аналіз і узагальнення результатів [28,29,36,40], участь у проведенні експериментальних

досліджень [1,24,25], проведення патентного пошуку, розроблення конструкції, підготовка матеріалів до публікації [10–16].

**Апробація результатів досліджень.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 80–84-й міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів, (м. Київ); IX–XI Міжнародній конференції студентів і аспірантів "Техника и технология пищевых производств" (м. Могильов); VIII центральноєвропейському конгресі з харчової науки SEFood 2016, (м. Київ); III Міжнародній науково–практичній конференції «Наука и техника пищевых производств», (м. Мінськ); The 7th International Conference for Students “STUDENT IN BUCOVINA” Stefan cel Mare University of Suceava, (Suceava); Міжнародній науковій конференції, «Нові ідеї в харчовій науці–нові продукти харчової промисловості», (м. Київ); Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості», (м. Київ); III–VII Міжнародної спеціалізованої науково–практичної конференції «Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності», (м. Київ); University of Ruse “Angel Kanchev” proceedings, Biotechnologies and food technologies, (Ruse).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 45 наукових праць, із них: 8 статей у фахових виданнях (з них 4 в закордонних виданнях, 1 індексується наукометричною базою Web of Science), 1 патент на винахід і 6 патентів на корисну модель, 30 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел зі 140 найменувань та 4 додатків. Дисертація викладена на 201 сторінці: основна частина складає 171 сторінку, містить 99 рисунків і 4 таблиці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** описана проблематика обраної теми дослідження, обґрунтовано актуальність представленої роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наведені предмет, об’єкт і методи досліджень. Висвітлено наукову новизну результатів досліджень та представлено практичне значення отриманих результатів. Вказані дані про особистий внесок здобувача, публікації, структуру і обсяг наукової роботи.

У **першому розділі** на підставі літературних джерел проведений огляд типів неньютонівських рідин і реологічних характеристик харчових мас, розглянуто теоретичні основи процесу замішування тіста, проаналізовано існуючий науковий підхід по стадіям замішування тіста. На основі системного аналізу зміни властивостей тіста під час замішування, встановлено, що основними процесами, що обумовлюють утворення тіста, є фізико-хімічні та колоїдні, роль біохімічних і мікробіологічних процесів на цій стадії приготування тіста незначна. На початку змішування компонентів тіста з водою відбуваються такі процеси, як змочування частинок борошна, сорбція й агломерація. При подальшому змішуванні їх відбувається гідратація, набухання й пептизація високомолекулярних органічних сполучень борошна. На цьому етапі утворюється маса що набухла, яка називається тістом. В

розділі розглянуто процеси, які відбуваються під час утворення тіста. Проведено конструктивний аналіз тістомісильних машин безперервної дії та робочих органів. Широке впровадження прискорених технологій тістоготування потребує більш глибокого дослідження процесу замішування пшеничного дріжджового тіста і впливу інтенсивного механічного оброблення тіста робочими органами різної конфігурації. На основі літературного аналізу і висновків було сформульовано мету і завдання наукових досліджень.

У **другому розділі** встановлено об'єкт і предмет досліджень. Тісто розглядаємо як складну колоїдну систему, що складається з декількох безперервних і періодичних фаз. В розділі наведені експериментальні установки та методики наукових досліджень. Для дослідження процесу замішування дріжджового тіста в тістомісильних машинах безперервної дії, нами розроблена експериментальна установка безперервної дії (рис. 1) з двовальними робочими органами (РО).

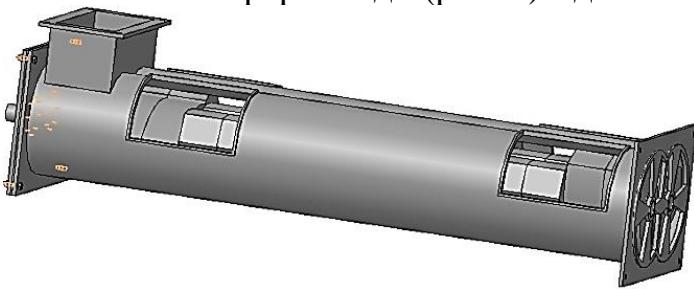


Рис. 1. Експериментальна установка безперервної дії з двовальними робочими органами

Дослідження проводили з використанням шнекових (рис. 2), кулачкових (рис. 3), пальцевих робочих органів (рис. 4) та їх впливу замішування на якість напівфабрикату та готового виробу в цілому. В робочих органах змінювали крок і регулювали площину живого перерізу решітки на виході дріжджового тіста після замішування.

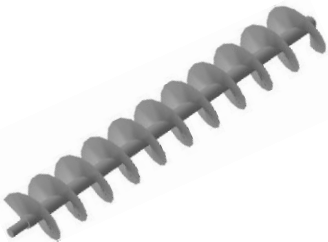


Рис. 2. Шнековий РО

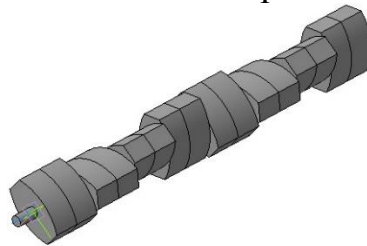


Рис. 3. Кулачковий РО

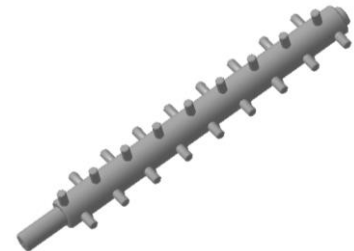


Рис. 4. Пальцевий РО

Дослідження тривалості стадій замішування дріжджового тіста проводили на Farinograph-AT, німецької компанії Brabender. Для дослідження реологічних характеристик дріжджового тіста використовували ротаційний віскозиметр Реотест-2. Дослідження рівномірності розподілення компонентів дріжджового тіста і пористість готового виробу визначали за допомогою тринокулярного біологічного мікроскопу Konus Biogex-3 та програмного комплексу ImageJ.

Обробку результатів експериментальних досліджень виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням пакету прикладних програм ImageJ, Microsoft, Mathcad.

У **третьому розділі** представлені результати фізичних експериментальних досліджень. Проведені дослідження процесу замішування з різною вологістю тіста (40,3%, 42,4%, 44,3%) і частотою обертання робочого органу (20–140 об/хв). В результаті досліджень чітко визначаються межі стадій процесу замішування

дріжджового тіста: I (0-S1) - перемішування компонентів, II (S1-DDT) - власне заміс, III (DDT-S2) – пластифікація дріжджового тіста (рис. 5).

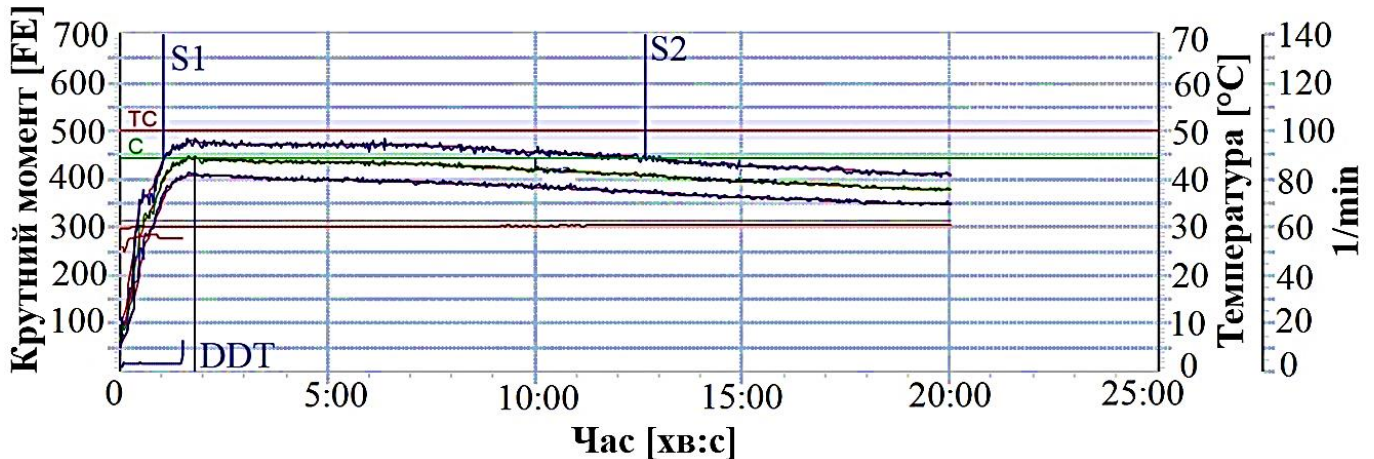


Рис. 5. Фаринограмма процесу замішування дріжджового тіста

Після змішування компонентів тіста протягом 50–140 с, коли значення крутного моменту стрімко зростає, крива досягає певного максимуму, це характеризує перехід змішуваної сировини у стан зв'язаної маси і показує тривалість 1-ї стадії процесу замішування компонентів (рис. 6). Далі, під час подальшого замішування внаслідок процесів набухання й дії гідролітичних ферментів тістова маса набуває певної пружності, що характеризує тривалість 2-ї стадії процесу протягом 100–270 с, власне замішування тіста (рис. 7). Загальну тривалість першої і другої стадії називають процесом утворення тіста. Кінцева стадія замішування тіста – пластифікація, під час якої відбувається зменшення ефективної в'язкості тіста, тривалість стадії 200–1010 с.

На першій стадії (рис. 6) замішування дріжджового тіста відбувається механічне змішування і аерація, внаслідок чого досягається рівномірний розподіл компонентів дріжджового тіста. Перша стадія супроводжується зволоженням сухих компонентів, їх диспергуванням, аерацією і сорбцією вологи тому вона повинна проводитися в короткий термін з мінімальними затратами енергії.

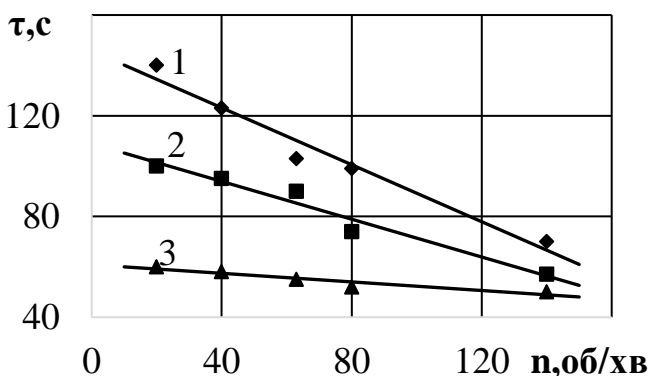


Рис. 6. Тривалість першої стадії замішування в залежності від частоти обертання і різної вологості: 1–40,3%; 2–42,4%; 3–44,3%

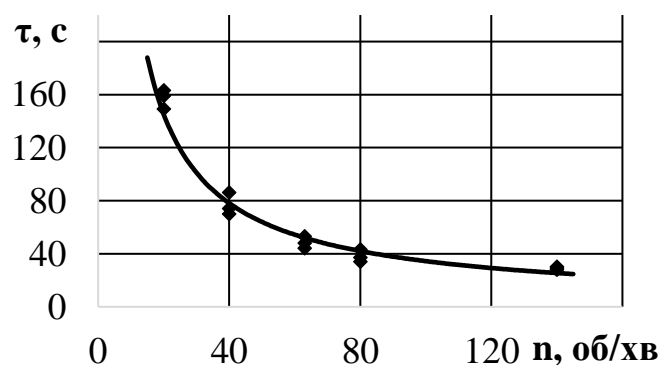


Рис. 7. Тривалість другої стадії замішування в залежності від частоти обертання і різної вологості: 1–40,3%; 2–42,4%; 3–44,3%



На другій стадії замішування утворюється нееластична маса, під час подальшої механічної обробки тіста структура клейковинного каркасу перебудовується і набуває пластичності.

Тривалість першої стадії замішування дріжджового тіста, можна визначити за математичною формулою:

$$\tau = (0,1W - 5,4)n - 21,2W + 1001, \quad (1)$$

де  $W$  – вологість дріжджового тіста, %;  $n$  – частота обертання робочого органу, об/хв;  $\tau$  – тривалість стадії замішування, с.

Тривалість другої стадії замішування дріжджового тіста, визначається математичною формулою:

$$\tau = 2118,8n^{-0,9}. \quad (2)$$

Тривалість третьої стадії замішування дріжджового тіста залежить від частоти обертання робочого органу і регулюється для досягнення тістом необхідних реологічних характеристик в залежності до потреб технологічного процесу.

Досліджено ефективну в'язкість дріжджового тіста після замішування шнековими, кулачковими та пальцевими робочими органами. Ефективна в'язкість зменшується із збільшенням швидкості зсуву, це обумовлено орієнтацією високомолекулярних сполук тіста у напрямку руху під дією зростаючих зусиль зсуву, дана закономірність характерна для дріжджового тіста, у якого при деформуванні відбувається орієнтація молекул в напрямку зсуву і порушення зв'язків між ними. Отримані залежності характеризують поведінку тіста як псевдопластичної рідини та носять степеневий характер.

Проведені дослідження по визначенню питомої роботи (рис. 8) необхідної на якісний заміс дріжджового тіста робочими органами різної конфігурації, змінним кроком і постійного живого перерізу виходу дріжджового тіста з експериментальної тістомісильної машини безперервної дії. Дослідження проводили зі змінним кроком робочого органу (РО): 1–18 мм; 2–36 мм; 3–54 мм.

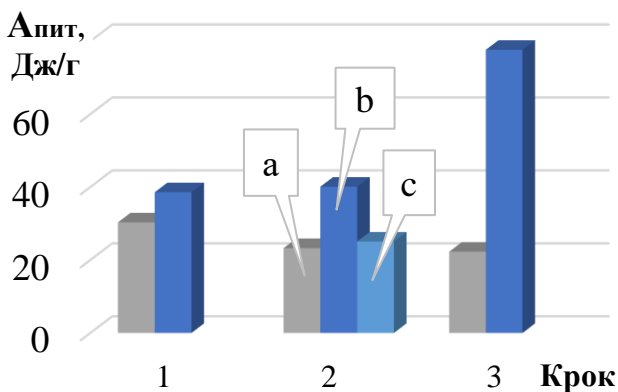


Рис. 8. Визначення показників питомої роботи за різного кроку робочих органів (а–шнекових, б– кулачкових, с–пальцевих)

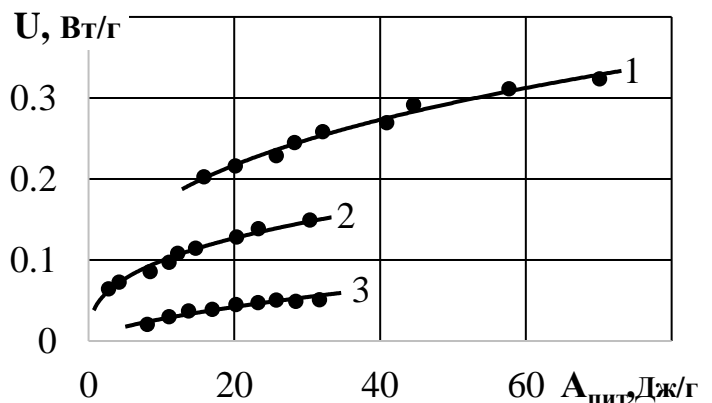


Рис. 9. Інтенсивність процесу замішування в залежності від витрат питомої роботи з використанням різних робочих органів (1–кулачкових, 2–шнекових, 3–пальцевих)

Найбільші показники питомої роботи (38–72 Дж/г) спостерігаються під час замішування кулачковими робочими органами, зі збільшенням кроку кулачкового робочого органу, збільшуються витрати питомої роботи, це пов'язано зі зменшенням

транспортуючих властивостей робочого органу і відповідно збільшенням часу замішування дріжджового тіста. У шнекових робочих органах ця закономірність обернено пропорційна, зі збільшенням кроку робочого органу зменшуються витрати питомої роботи (38–20 Дж/г) необхідні на заміс дріжджового тіста, це пов'язано зі зменшенням витків шнеку на валу і збільшенням транспортуючих властивостей відповідно, таким чином тісто швидко транспортується і мало замішується у робочій камері. Витрати питомої роботи під час замішування пальцевими робочими органами з кроком 36 мм, сягають 22 Дж/г.

Інтенсивне замішування (рис. 9) полягає у посиленій механічній обробці тіста, кінцевим результатом являється покращення властивостей дріжджового тіста і скорочення часу бродіння. Під час інтенсивного замішування дріжджове тісто нагрівається на 3–7 °С і таким чином прискорює процес дозрівання.

Інтенсивність замішування дріжджового тіста залежить від конфігурації робочого органу, частоти обертання і кроку. Дослідженнями підтверджено, що використання кулачкових робочих органів найкраще інтенсифікує процес замішування дріжджового тіста, як результат прискорює утворення та дозрівання тіста в подальшому.

Одним із показників, за яким оцінюють ефективність замішування дріжджового тіста являється однорідність отриманої суміші.

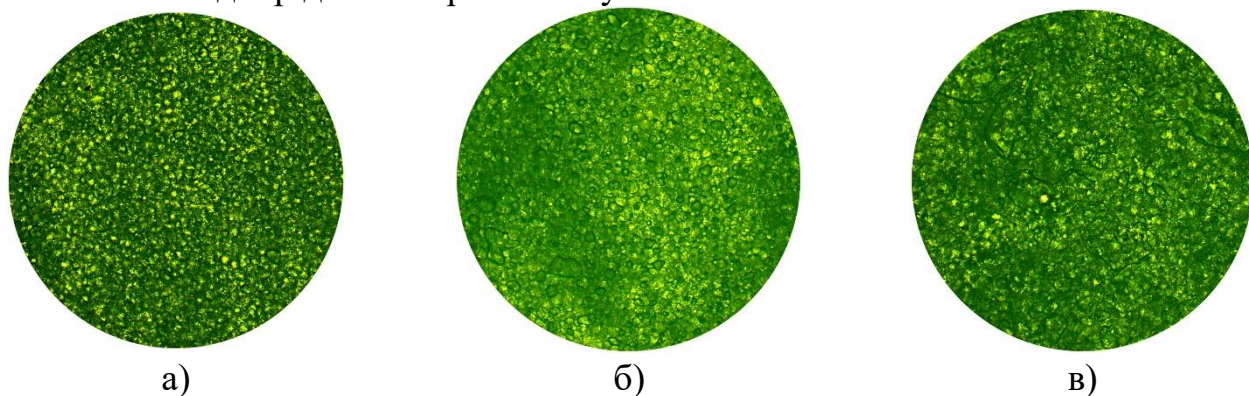


Рис. 10. Однорідність розподілення компонентів дріжджового тіста після замішування робочими органами різної конфігурації (а – кулачковий РО; б – пальцевий РО; в – шнековий РО)

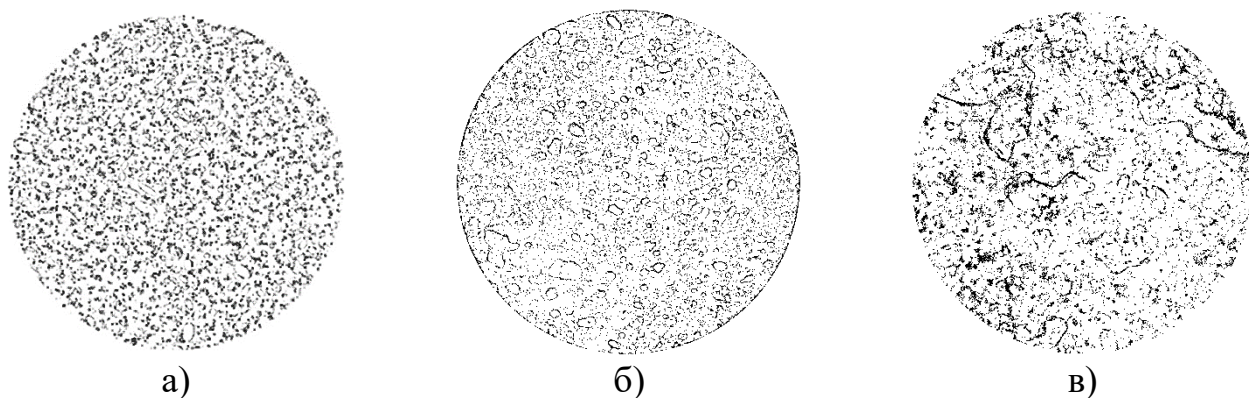


Рис. 11. Рівномірність розподілення компонентів дріжджового тіста після оброблення у програмному комплексі ImageJ (а – кулачковий РО; б – пальцевий РО; в – шнековий РО)

Проведені дослідження дозволили отримати фіксоване зображення розподілення компонентів дріжджового тіста після замішування робочими органами різної конфігурації. Рівномірне розподілення компонентів спостерігаємо у кулачкових і пальцевих робочих органах, у шнекових робочих органах частково спостерігається не промішування і злипання компонентів у великі згустки.

Дослідженнями виявлено кількість однорідних частинок, які утворилися після замішування дріжджового тіста. У кулачкових місильних органах ці показники найвищі (рис.11а) і складають 2421 шт однорідних частинок на площі досліджуваного під мікроскопом зразка (282600 мк), у пальцевих 1439 шт, у шнекових 801 шт. Середній розмір частинок після замішування кулачковими місильними органами складає 116,7 мк, пальцевими РО 196,3 мк, шнековими РО 352,4 мк.

Коефіцієнт розподілення після замішування кулачковими робочими органами складає 84%, спостерігається рівномірне розподілення компонентів у структурі дріжджового тіста. Після замішування пальцевими місильними органами коефіцієнт розподілення складає 67% і досягається рівномірність розподілення компонентів у структурі тіста. Під час замішування шнековими робочими органами коефіцієнт розподілення сягає 58%, за цих значень не досягається рівномірного розподілення компонентів у структурі тіста, містяться сліди непромісу.

Досліджено структуру пористості готових виробів (рис.12) після попереднього замішування дріжджового тіста робочими органами різної конфігурації.

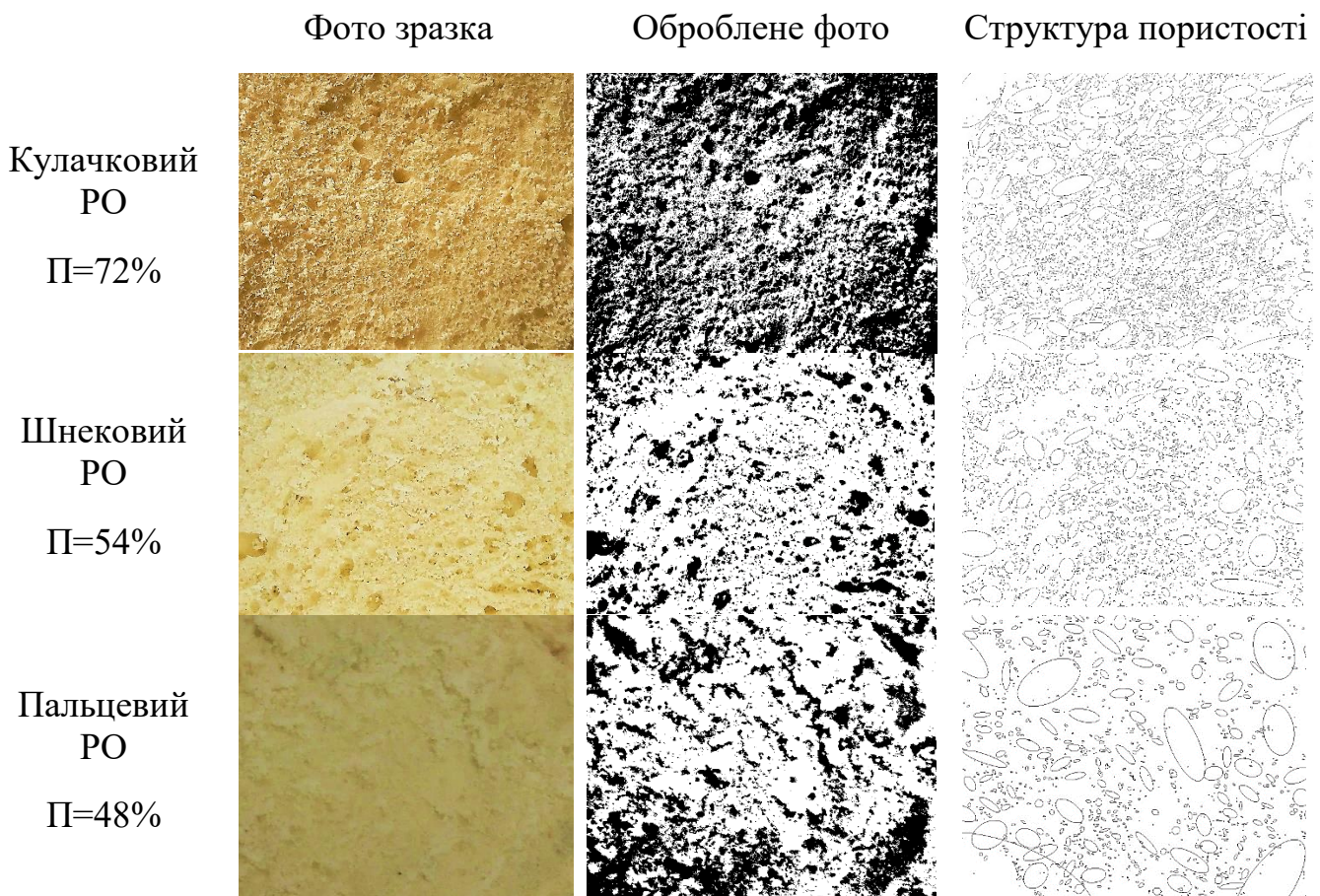


Рис. 12. Структура пористості готових виробів після замішування робочими органами різної конфігурації

Хлібобулочні вироби після замішування робочими органами різної конфігурації оцінюють за фізико-хімічними показниками, одними з важливих споживчих якостей хліба є пористість. Серед найважливіших органолептичних характеристик пористості визначали рівномірність розташування пор та їх розмір.

Рівномірна дрібнозерниста пористість готового виробу  $\Pi=72\%$ , спостерігається після замішування дріжджового тіста кулачковими робочими органами, їхній механічний вплив покращує життєдіяльність мікрофлори тіста і підтримує еластичність поверхні, таким чином підвищується пористість і як результат відбувається збільшення об'єму тістової заготовки після вистоювання і випікання. Пористість готового виробу, після замішування шнековими робочими органами сягає  $54\%$ , знижені показники пористості пояснюються тим, що деякі компоненти тіста на першій стадії злипалися і в подальшому за рахунок швидкої транспортувальної сили шнекових робочих органів не встигали якісно пройти стадію власне замішування і пластифікації. Замішування пальцевими робочими органами призвело до пошкодження клейковинного каркасу тіста, в результаті чого відбулося злиття маленьких пор і утворення в деяких місцях об'єму крупної, нерівномірно розподіленої по всьому об'єму виробу, пористості хліба  $\Pi=48\%$ , і як результат до зменшення об'ємного виходу хліба. Визначено приріст об'єму дріжджового тіста, після замішування робочими органами різної конфігурації, найбільші показники приросту в об'ємі спостерігаються після замішування кулачковими робочими органами.

Проведений на основі фізичних експериментів порівняльний аналіз досліджуваних робочих органів свідчить про раціональність застосування кулачкових робочих органів.

У **четвертому розділі** проведено математичне моделювання процесу замішування пшеничного дріжджового тіста кулачковими робочими органами в програмному комплексі GiPex 3D V17 та Flow Vision.

Для спрощення математичного опису механічної поведінки тіста для відповідних параметрів використано просторове усереднення по твердій та газовій фазах.

Математичні залежності, геометричні розміри камери, геометричні розміри кулачкових робочих органів, частота обертання і отримані експериментальні дані після фізичного експерименту задали для обчислення та імітації моделювання процесу замішування дріжджового тіста кулачковими робочими органами в програмний комплекс GiPex 3D V17.

Для моделювання процесу використовували розрахункову сітку. На етапі формування задачі задаються умови контактної взаємодії матеріалу з робочими елементами та камерою замішування, а також значення структурно-механічних характеристик тіста.

Для імітаційного моделювання процесу замішування, в програмний комплекс, а саме в розрахункові блоки: властивості матеріалу, геометрія і статус процесу замішування були введені початкові дані та граничні умови (рис. 13–14).

Після внесення до програмного комплексу всіх необхідних параметрів починається процес розрахунку і візуалізації процесу замішування дріжджового тіста (рис. 15–16).

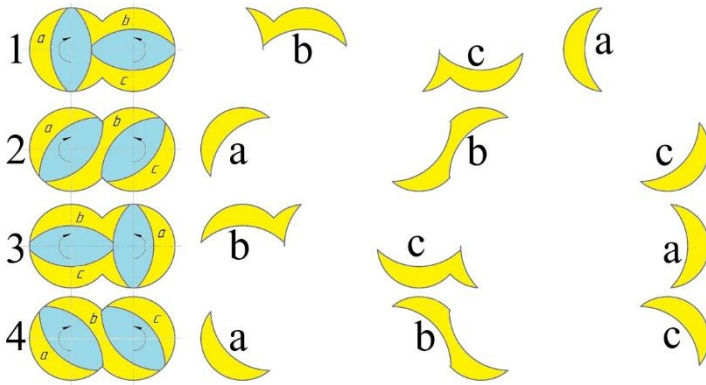


Рис. 13. Задані умови руху кулачкових робочих органів і обчислювальні ділянки дріжджового тіста (a, b, c)

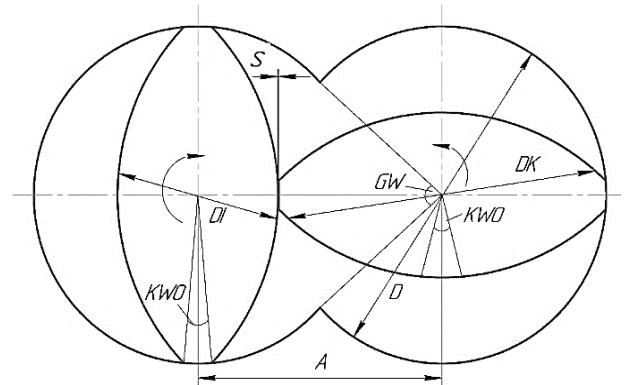


Рис. 14. Задані геометричні розміри камери замішування і кулачкових робочих органів

Для псевдопластичних рідин зі змінною в'язкістю продукту (неньютонівська рідина) напруження зсуву носить степеневий характер. На рисунку 15 зображено розподіл напруження зсуву по дріжджовому тісті в процесі замішування кулачковими робочими органами і як результат, розподіл механічного навантаження для певного положення кулачкових робочих органів.

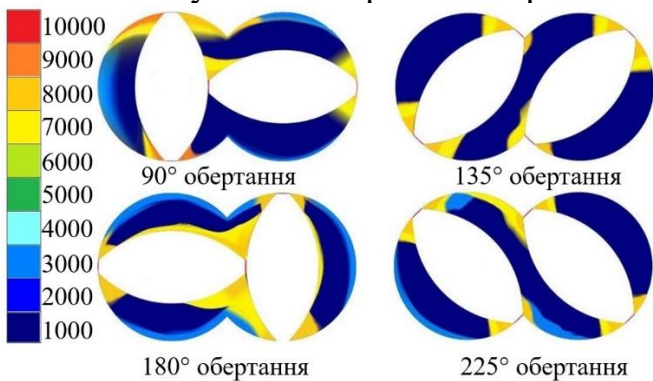


Рис. 15. Зміна напруження зсуву  $[\tau, \text{Па}]$  в місильній камері в процесі замішування дріжджового тіста кулачковими робочими органами

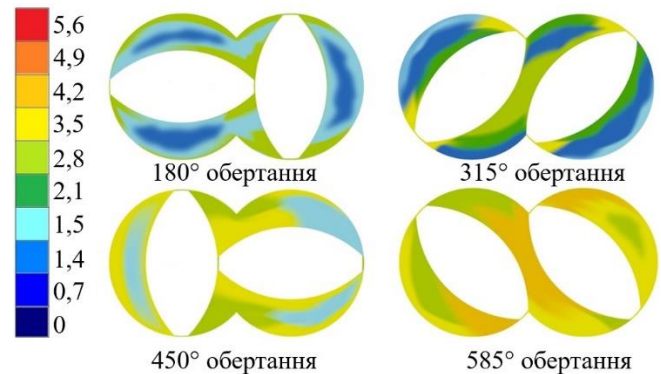


Рис. 16. Розподілення дисипації  $[q_{\text{diss}}, \text{°C}]$  в місильній камері в процесі замішування дріжджового тіста кулачковими робочими органами

За рахунок дисипації, внаслідок внутрішнього тертя дріжджового тіста з робочими органами та корпусом, відбувається перетворення кінетичної енергії потоку в теплову. Найбільше виділення тепла спостерігаємо в області зачеплення кулачкових робочих органів. В процесі замішування температура тіста збільшується на  $5 \text{ °C}$ .

Проведені дослідження по впливу відстані між кулачками та частоти обертання робочого органу на процес замішування дріжджового тіста (рис.17–18).

Відстань між кулачковими робочими органами змінювали в межах від 2 мм до 10 мм (2–4–6–8–10 мм), швидкість обертання змінювали в діапазоні від 20 об/хв до 100 об/хв (20–40–60–80–100 об/хв). Імітаційне моделювання процесу замішування проводили в програмному комплексі Flow Vision.

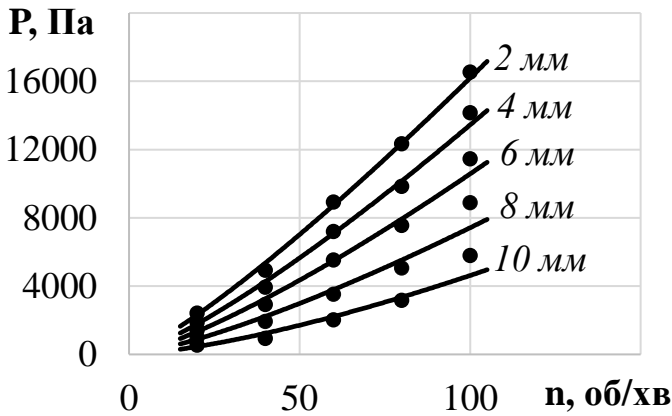


Рис. 17. Зміна тиску в камері замішування, в залежності від відстані між кулачками та швидкості обертання робочого органу

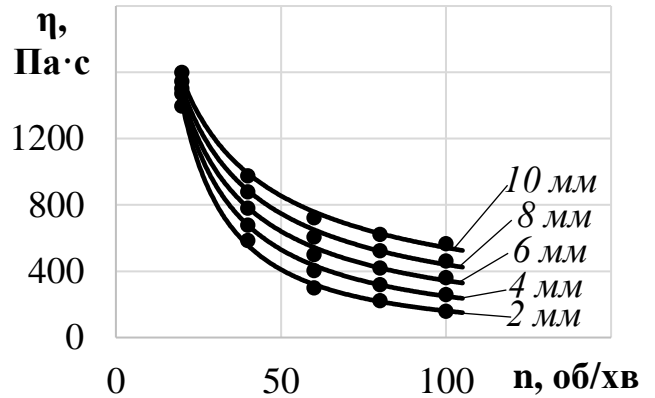


Рис. 18. Зміна в'язкості в камері замішування, в залежності від відстані між кулачками та швидкості обертання робочого органу

Зміна тиску  $[P, \text{Па}]$  в камері замішування, в залежності від відстані між кулачками та швидкості обертання робочого органу носить степеневий характер і описується формулою:

$$P = (73 - 6,9S)n^{0,03S + 1,14} \quad (3)$$

Математично отримана залежність зміни в'язкості  $[\eta, \text{Па}\cdot\text{с}]$  тіста в процесі замішування описується у вигляді рівняння:

$$\eta = (201431 \cdot S^{-1,4})n^{0,09S - 1,4} \quad (4)$$

де  $S$  – відстань між кулачковими робочими органами, мм;  $n$  – частота обертання робочого органу, об/хв.

На основі імітаційного моделювання і експериментальних досліджень, запропоновані конструкції робочого органу для замішування дріжджового тіста в тістомісильній машині безперервної дії.

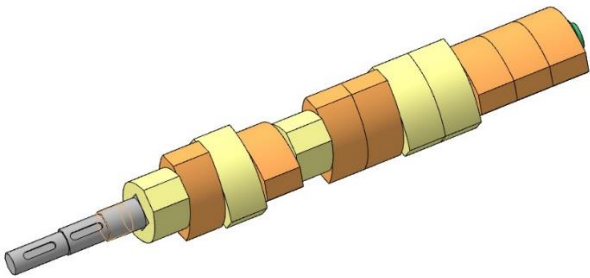


Рис. 19. Кулачковий робочий орган зі змінним кроком

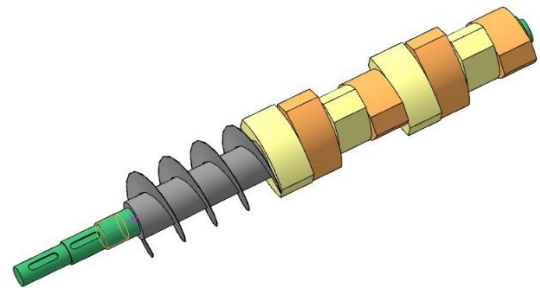


Рис. 20. Комбінований (кулачково-шнековий) робочий орган

Для підвищення транспортуючої здатності кулачкових робочих органів, покращення змішування і зменшення витрат теплоти, раціонально використовувати кулачкові робочі органи зі змінним кроком і змінним положенням кулачків на  $\alpha = 45^\circ$  (рис. 19) або комбінований кулачковий робочий орган з використанням витків шнеку (рис. 20) на початку робочого органу.

Розроблена імітаційна модель процесу замішування дозволяє ефективно виконувати проектувальні розрахунки під час вибору раціональних конструктивних і технологічних параметрів.

У п'ятому розділі на основі отриманих результатів фізичних та імітаційних експериментів для інтенсифікації процесу замішування дріжджового тіста, нами запропоновані конструкції змішувально–бродильно–формуального агрегату і тістомісильних машин безперервної дії.

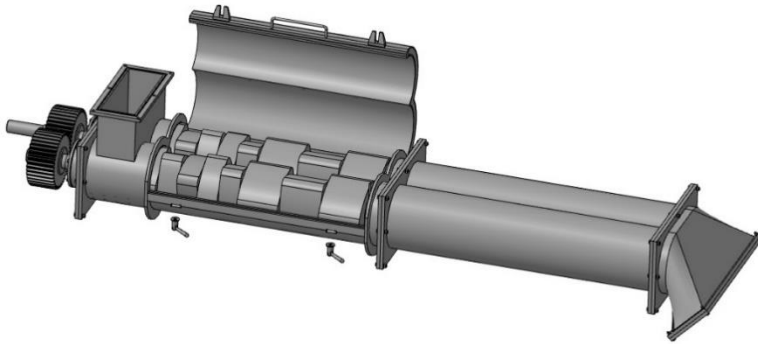


Рис.21. Змішувально–бродильно–формуальний агрегат з кулачковими робочими органами

Впровадження змішувально–бродильно–формуального агрегату у виробництво дозволить виконати всі операції оброблення тіста в одному агрегаті, повністю механізувати процес виробництва хлібобулочних виробів та створити економічно ефективну, компактну лінію (рис. 22).

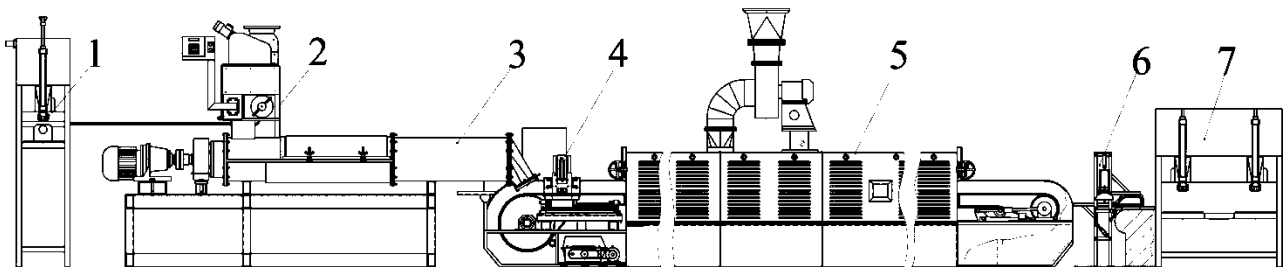


Рис. 22. Машино–апаратна схема виробництва хлібобулочних виробів:

1 – дозатор рідких компонентів; 2 – дозатор борошна; 3 – змішувально–бродильно–формуальний агрегат; 4 – механізм відрізання; 5 – піч; 6 – вакуум охолоджувач; 7 – пакувальна машина.

Таким чином, запропонований спосіб виробництва хлібобулочних виробів дає можливість повністю механізувати виробництво, інтенсифікувати процес замішування, зменшити застосування ручної праці, зменшити кількість обладнання, скоротити тривалість виробничого процесу на 40–50%, як результат зменшити собівартість продукції та підвищити конкурентоспроможність на ринку.

## ВИСНОВКИ

На основі теоретичних і експериментальних досліджень процесу замішування дріжджового тіста, науково обґрунтовано застосування конструкцій робочих органів для забезпечення безперервного замішування дріжджового тіста. Досліджено вплив шнекових, кулачкових і пальцевих робочих органів на процес замішування дріжджового тіста, на якість напівфабрикату і готового виробу загалом. На основі результатів досліджень, сформульовано такі висновки:

- Проведений аналіз існуючого обладнання і конструкцій робочих органів. В тістомісильних машинах безперервної дії використовують шнекові робочі органи та похідні від них конструкції. Широкого розповсюдження набувають кулачкові робочі органи, які потребують глибокого наукового дослідження і технічного обґрунтування.

- На основі проведених експериментальних досліджень визначено тривалість кожної стадії в трьох стадійній моделі замішування дріжджового тіста за частоти обертання в межах від 20 до 140 об/хв.
- Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання робочого органу, зменшується тривалість замішування дріжджового тіста. На першій стадії також впливає вологість тіста, зі збільшенням вологості, лінійною залежністю зменшується тривалість перемішування компонентів. Друга стадія, власне заміс, потребує посиленої механічної обробки, на цій стадії вологість у встановлених межах 40–44% фактично не впливає, скорочення тривалості замішування досягається за рахунок збільшення частоти обертання робочого органу. Збільшення частоти обертання від 20 до 140 об/хв зменшує тривалість власне замішування, від 164 с до 34 с. Зі збільшенням частоти обертання робочого органу, зменшується тривалість утворення тіста від 240 с до 90 с. Замішування дріжджового тіста, раціонально проводити до частоти обертання 60 об/хв, так як надмірний механічний вплив призводить до руйнування клейковинного каркасу, який утворюється під час замішування.
- Встановлено залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву, яка описує поведінку тіста під час замішування кулачковими робочими органами і має вигляд  $\eta=3220\gamma^{-0,85}$  та використовується під час імітаційного параметричного моделювання процесу замішування.
- Визначено витрати питомої роботи під час безперервного замішування дріжджового тіста. Встановлено, що в залежності від конфігурації робочого органу ці витрати змінюються від 2 до 72 Дж/г, збільшення витрат впливає на збільшення кількості пор у готовому продукті від 900 до 5900 штук.
- Визначено вплив робочих органів різної конфігурації (шнекових, кулачкових, пальцевих) на інтенсифікацію процесу замішування. Встановлено, що інтенсивність впливу кулачкових робочих органів на процес замішування пшеничного дріжджового тіста має найбільше значення ( $U=32$  Вт/г), як результат прискорюється утворення і дозрівання тіста в подальшому.
- Досліджено рівномірність розподілу компонентів дріжджового тіста, після замішування робочими органами різної конфігурації. Коефіцієнт розподілення після замішування кулачковими робочими органами складає 84%, спостерігається рівномірне розподілення компонентів у структурі дріжджового тіста. Після замішування пальцевими – 67%, під час замішування шнековими робочими органами коефіцієнт розподілення сягає 58%.
- Встановлено збільшення об'єму дріжджового тіста після замішування робочими органами різної конфігурації. Найкраща, рівномірна, дрібнозерниста пористість готового виробу – 72%, спостерігається після замішування дріжджового тіста кулачковими робочими органами. Після замішування шнековими робочими органами – 54%, після замішування пальцевими – 48%.
- Сформульовано математичну модель та проведено імітаційне моделювання процесу замішування дріжджового тіста з використанням кулачкових робочих органів, встановлено що відстань між кулачками в межах від 2 до 10 мм не суттєво впливає на процес замішування.



- На основі результатів, фізичного та імітаційного експерименту, запропонована конструкція кулачкового робочого органу, розроблено тістомісильну машину безперервної дії з ефективними робочими органами в складі змішувально–бродильно–формульовального агрегату та запропоновано машино–апаратну схему виробництва хлібобулочних виробів. Наукові та технічні аспекти дисертаційної роботи впроваджені на виробництві та у навчальному процесі, підтверджені актами впровадження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у закордонних наукових виданнях

1. Интенсификация процесса замешивания дрожжевого теста / О.І. Кравченко и др. *Proceedings of University of Ruse*. 2013. Volume 52. book 10.2. – С. 135–138.
2. Влияние термических условий формования изделий из дрожжевого теста на их качество / В.В. Рачок и др. *Proceedings of University of Ruse*. 2016. Volume 55. book 10.2. – С. 37–40.
3. Investigation of the yeast dough mixing process / Vitalii Rachok and etc. *Proceedings biotechnologies and food technologies*. 2017. Volume 56, book 10.2. – P. 86–89.
4. The continuous dough kneading at various working elements / V. Rachok and etc. *Proceedings of the scientific student session*. 2017. SSS'17. P. 31–36.

### Статті у наукометричних і фахових виданнях України

5. Вплив температури формульованої поверхні матриці екструдера на якість готових виробів / В.В. Рачок та ін. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2016. Том 22, № 5. С. 169–178.
6. Rachok V., Telychkun Y., Telychkun V. Investigation of the yeast dough mixing process at different rotational frequency of the mixing blade. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2017. Volume 5, Issue 1. P. 111–121.
7. Формування структури пшеничного тіста в процесі змішування / В.В. Рачок та ін. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Том 24, № 2. С. 155–162.
8. Rachok V. Influence of working elements of various configurations on the process of yeast dough kneading. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Volume 7, Issue 1. P.120–134. (Індексується наукометричною базою *Web of Science Core Collection*)

### Патенти на винахід та корисні моделі України

9. Патент на винахід № 111301 Україна, МПК (2016.01); Змішувально–бродильно–формульовальний агрегат з камерою попереднього змішування / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ. – № 201503264; Заявлено 07.04.2015; Опубліковано 11.04.2016, бюл. №7.
10. Патент на корисну модель № 101466 Україна, МПК (2015.01); Змішувально–бродильно–формульовальний агрегат/ В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ. – № и 2015 03272; Заявлено 07.04.2015; Опубліковано 10.09.2015, бюл. №17.
11. Патент на корисну модель № 101769 Україна, МПК (2015.01); Тістомісильна машина / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ. – № и 2015 03905; Заявлено 23.04.2015; Опубліковано 25.09.2015, бюл. №18.

12. Патент на корисну модель № 101956 Україна, МПК (2015.01); Тістомісильна машина / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ. – № у 2015 03270; Заявлено 07.04.2015; Опубліковано 12.10.2015, бюл. №19.
13. Патент на корисну модель № 102041 Україна, МПК (2015.01); Тістомісильна машина/В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ.–№ у 2015 04106; Заявлено 28.04.2015; Опубліковано 12.10.2015, бюл. №19.
14. Патент на корисну модель № 102042 Україна, МПК (2015.01); Спосіб виробництва сухарних виробів / М.Г. Десик, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ. – № у 2015 04108; Заявлено 28.04.2015; Опубліковано 12.10.2015, бюл. №19.
15. Патент на корисну модель № 103121 Україна, МПК (2015.01); Змішувально–бродильно–формувальний агрегат з камерою попереднього змішування / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, В.В. Рачок та ін.; заявник НУХТ. – № у 2015 03271; Заявлено 07.04.2015; Опубліковано 10.12.2015, бюл. №23.

#### **Матеріали міжнародних конференцій за межами України**

16. Рачок В.В., Теличкун Ю.С. Зависимость эффективной вязкости дрожжевого теста от удельной работы замеса. *Техника и технология пищевых производств : тез. докл. IX Междунар. науч. конф., 24–25 апреля 2014 г.*, Могилев: МГУП, 2014. С. 59.
17. Bulka A., Rachok V., Telychkun V. Intensification of the process of wheat dough kneading. *7th International Conference for Students "Student in Bucovina" November, 10th–11th, 2016. Stefan cel Mare University of Suceava*. R: SMUS, 2016. P. 23.
18. Использование инновационных технологий при непрерывном замесе дрожжевого теста / В.В.Рачок и др. *Техника и технология пищевых производств : тез. докл. X Междунар. науч. конф, 28–29 апреля 2016 г.*, Могилев: МГУП, 2016. С. 278.
19. Булка А.П., Бобров А.С, Рачок В.В. Замес дрожжевого теста с различной частотой вращения рабочего органа. *Техника и технология пищевых производств: тез. докл. X Междунар. науч. конф, 28–29 апреля 2016 г.*, Могилев: МГУП, 2016. С. 283.
20. Рачок В.В., Теличкун В.И. Непрерывный замес дрожжевого теста рабочими органами различной конфигурации. *Техника и технология пищевых производств: тез. докл. X Междунар. науч. конф, 28–29 апреля 2016 г.*, Могилев: МГУП, 2016. С. 285.
21. Рачок В.В., Теличкун И.В., Теличкун В.И. Исследование оборудования для непрерывного замешивания теста. *Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III Международной научно–практической конференции*. 2017. Минск: МКС, 2017. С. 202–203.
22. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.И. Исследования процесса замеса пшеничного теста. *Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов XI международной научно техничной конференции, 20–21 апреля 2017 г.*, Могилев: МГУП, 2017. С. 264.

#### **Матеріали міжнародних конференцій в Україні**

23. Вплив питомої роботи змішування на ефективну в'язкість дріжджового тіста / В.В. Рачок та ін. *Матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 10–11 квітня 2014 р.* Київ: НУХТ, 2014 р. Ч.2. С. 55–57.

24. Впровадження інноваційних способів тістоготування та оброблення дріжджового тіста / О.І. Кравченко, В.В. Рачок, М.Г. Десик та ін. *Програма і матеріали Міжнародна наукової конференції «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості», 13–17 квітня 2014 р.* Київ: НУХТ, 2014 р. С. 385.
25. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І., Вплив тиску екструдуювання та вмісту газу на формування пористості готових виробів. *Програма і матеріали Міжнародна наукової конференції «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості», 13–17 квітня 2014 р.* Київ: НУХТ, 2014 р. С. 395.
26. Впровадження інноваційних способів виробництва хлібопекарської продукції – шлях до економії енергетичних та матеріальних ресурсів / Ю.С. Теличкун та ін. *Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: Матеріали III Міжнародної спеціалізованої науково–практичної конференції. 9 вересня 2014 р., м. Київ.* Київ: НУХТ, 2014 С. 137–139.
27. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. Замішування дріжджового тіста в тістомісильних машинах безперервної дії. *Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р.* Київ: НУХТ, 2015 р. Ч.2. С. 11.
28. Безперервна тістомісильна машина зі шнековим робочим органом / В.В. Рачок та ін. *Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р.* Київ: НУХТ, 2015 р. Ч.2. С. 12.
29. Дослідження кулачкового робочого органу для замішування дріжджового тіста / Д.В. Косенко, В.В. Рачок та ін. *Матеріали 81 міжнародної наукової конференції молодих учених “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 23–24 квітня 2015 р.* Київ: НУХТ, 2015 р. Ч.2. С. 35.
30. Rachok V., Telychkun Y., Telychkun V. Research of the process of kneading Dough in dough mixer of continuous action. *8th Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts. 23–26 May 2016.* Kyiv: NUFT, 2016. P. 79.
31. Influence frequency rotation the working body on process of kneading dough. Boolka A, Bobrow A, Rachok V, and other. *8th Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts. 23–26 May 2016.* Kyiv: NUFT, 2016. P. 108.
32. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. Дослідження впливу робочих органів в тістомісильних машинах безперервної дії на ефективне замішування дріжджового тіста. *Матеріали 82 Міжнародної наукової конференції молодих учених “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 13–14 квітня 2016 р.* Київ: НУХТ, 2016 р. Ч.2. С. 42.
33. Дослідження впливу частоти обертання робочого органу на процес замішування дріжджового тіста / А.М. Булка, А.С. Бобров, В.В. Рачок та ін. *Матеріали 82 Міжнародної наукової конференції молодих учених “Наукові здобутки молоді–*

- вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 13–14 квітня 2016 р. Київ: НУХТ, 2016 С. 44.
34. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. Використання енергозберігаючих технологій при безперервному обробленні дріжджового тіста. *Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: Матеріали V Міжнародної спеціалізованої науково–практичної конференції. 14 вересня 2016 р.* Київ: НУХТ, 2016. С. 45–46.
35. Дослідження процесу замішування пшеничного тіста / В.В. Рачок та ін. *Програма і матеріали міжнародної науково–практичної конференції "Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості" 8–10 листопада 2016 року.* Київ: НУХТ, 2016 р. С. 209–210.
36. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. Використання енергозберігаючих технологій при безперервному обробленні дріжджового тіста. *Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: Матеріали V Міжнародної спеціалізованої науково–практичної конференції. 14 вересня 2016 р.* Київ: НУХТ, 2016. С. 45–46.
37. Дослідження процесу замішування пшеничного тіста / В.В. Рачок та ін. *Програма і матеріали Міжнародної науково–практичної конференції "Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості". 8–10 листопада 2016 р.* Київ: НУХТ, 2016. С. 209–210.
38. Зміна реологічних характеристик дріжджового пшеничного тіста під час замішування. / В.С. Гудзенко, В.В. Бондарук, І.В. Теличкун, В.В. Рачок *Матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 5–6 квітня 2017 р.* Київ: НУХТ, 2017 р. Ч.2. С. 27.
39. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. Вплив кулачкових робочих органів на ефективно замішування дріжджового тіста. *Матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 5–6 квітня 2017 р.* Київ: НУХТ, 2017 р. Ч.2. С. 30.
40. Рачок В.В., Теличкун І.В., Теличкун В.І. Безперервне замішування тіста з використанням енергоощадних технологій. *Матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 5–6 квітня 2017 р.* Київ: НУХТ, 2017 р. Ч.2. С. 31.
41. Рачок В.В., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. Впровадження енергозберігаючих технологій при замішуванні пшеничного тіста. *Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції–основні засади її конкурентоздатності: Матеріали VI Міжнародної спеціалізованої науково–практичної конференції, 12 вересня 2017 р.* Київ: НУХТ, 2017. С. 10–11.
42. Бондарук В.В., Рачок В.В., Теличкун Ю.С. Розроблення двовальної тістомісильної машини з комбінованим робочим органом. *Матеріали 84 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді –*

- вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*”, 23–24 квітня 2018 р. Київ: НУХТ, 2018 р. Ч.2. С. 28.
43. Дослідження реологічних характеристик пшеничного тіста під час замішування / В.В. Рачок та ін. *Матеріали 84 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”*, 23–24 квітня 2018 р. Київ: НУХТ, 2018 р. Ч.2. С. 29.
44. До розрахунку витрат енергії на процес замішування тіста / А.С. Анісімов, М.О. Ільчук, В.В. Рачок, Ю.С. Теличкун. *Матеріали 84 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”*, 23–24 квітня 2018 р. Київ: НУХТ, 2018 р. Ч.2. С. 32.
45. Вплив робочих елементів різної конфігурації на процес замішування дріжджового тіста / В.В. Рачок та ін. *Ресурсо– та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції–основні засади її конкурентоздатності: Матеріали VII Міжнародної спеціалізованої науково– практичної конференції, 13 вересня 2018 р.* Київ: НУХТ, 2018. С. 105–107.

### АНОТАЦІЯ

**Рачок В.В. Наукові та технічні аспекти ефективного замішування дріжджового тіста в тістомісильних машинах безперервної дії. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесу замішування дріжджового тіста та дослідженню впливу конструктивних параметрів робочих органів на процес замішування в тістомісильних машинах безперервної дії.

Досліджено процес замішування дріжджового тіста в тістомісильній машині безперервної дії з використанням шнекових, кулачкових та пальцевих робочих органів, проведений порівняльний аналіз. Визначено показники витрати питомої роботи та інтенсивності з використанням робочих органів різної конфігурації. Досліджено рівномірність розподілення компонентів тіста після замішування, порівняно показники пористості готового продукту, після замішування дріжджового тіста робочими органами різної конфігурації.

Проведено імітаційне параметричне моделювання процесу замішування дріжджового тіста кулачковими робочими органами, досліджено вплив зміни відстані між кулачками та частотою обертання робочого органу. На основі отриманих результатів запропоновані конструкції робочих органів для замішування дріжджового тіста в тістомісильних машинах безперервної дії.

Розроблено змішувально–бродильно–формувальний агрегат та тістомісильні машини безперервної дії з використанням кулачкових робочих органів.

**Ключові слова:** *замішування, тісто, стадії замішування, інтенсивність, розподілення компонентів, пористість, кулачковий робочий орган.*

## ABSTRACT

**Rachok V.V. Scientific and technical aspects of effective kneading of the yeast dough in dough machines of continuous action. – Manuscript.**

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in the specialty 05.18.12 – Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. – National University of Food Technology, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the study of the process of mixing the yeast dough and to the study of the influence of the constructive parameters of working elements on the process of kneading in the dough machines of continuous action.

The effect of mechanical treatment on the dough during its kneading accelerates the rate of flow of physical, colloidal and biochemical processes and is one of the main ways of regulating the physical properties of yeast dough and the quality of finished products in general.

Due to the previous experimental studies, the duration of each stage was determined in the three-stage model of the kneading of the yeast dough at different rates of rotation. With the increase of the frequency of the rotation of working element, the duration of kneading the yeast dough decreases. At the first stage, the moisture content of the dough is also affected. With the humidity increase, the duration of mixing of the components decreases by the linear dependence. The second stage, in particular, the batch, requires intensive machining. At this stage, the humidity within the established limits does not actually affect. The reducing of the duration of mixing is achieved by increasing the frequency of rotation of the working element. Increasing the frequency of rotation reduces the duration of kneading. With the increase of the frequency of the rotation of working element, the duration of the formation of the dough decreases. Excessive mechanical impact leads to the destruction of the gluten-free frame formed during the kneading.

The experimental setup equipped by screw, cam and finger working elements was developed. Studies have been conducted based on the duration of mixing stages. It has been established that with the increase of the frequency of the rotation of working element, the duration of the yeast dough mixing decreases. The process of the kneading of yeast dough in a dough machine of continuous action with the use of screw, cam and finger working elements was investigated. A comparative analysis was carried out. It was determined the costs of specific work and intensity using the working elements of different configurations. It is established that the intensity of the influence of cam working elements on the processes of kneading of wheat dough has the highest value ( $U = 32 \text{ W/g}$ ). It is accelerated the formation and maturation of the dough under the obtained values. The equability of distribution of dough components after kneading has been investigated, porosity parameters of the finished product were compared, after mixing the yeast dough by the working elements of various configurations. Distribution coefficient after kneading by cam operating elements is 84%, it is observed an equable distribution of components in the structure of yeast dough.

A mathematical model was formulated and simulation parametric modeling of the process of mixing the yeast dough with cam operating elements was carried out. The influence of changing the distance between the cams and the frequency of rotation of the working body was investigated.

At the stage of the formation of the task the conditions of the contact interaction of the material with working elements and kneading tube, and also values of structural-mechanical characteristics of the dough are specified. After all parameters are entered to the software complex, it begins the process of calculation and visualization of the process of kneading the dough.

Based on the results and after the parametrical modeling of the process of kneading the dough by cam working elements a linear dependence of the speed of transferring in the working dough tube is obtained. It was established that with increasing the frequency of rotation of the working element, the pressure in the kneading tube increases. The distance between cam working elements also affects, the shorter distance, the greater pressure in the tube. The highest value of indicators of the pressure in the kneading tube arises in the zone of the contact of cam working elements and the wall of the kneading tube and in the zone of the contact of two cam working elements. We obtained the distribution of the viscosity of the dough in the kneading tube at a different rotational frequency and at a different distance of the working element. The results of the modeling confirmed the nature of the dough is pseudo plastic, which is explained by the variables of the numerical data of the viscosity of the dough in the kneading tube. It is considered parts of kneading tube, where the smallest indicators of viscosity are obtained, are the most effective during the kneading process. The increase of the frequency of the rotation of working element leads to increase of the speed of the transferring of the dough inside the working tube. Furthermore, this leads to the decrease of the viscosity of the dough and to the decrease of the energetic losses during the kneading process.

It has been established that the distance between the cam working elements in the range from 2 to 10 mm does not significantly affect the process of mixing the yeast dough.

Based on the obtained results, it is proposed specific structures of working elements for kneading the yeast dough in dough machines of continuous action.

It is rationally to use the space between working elements and the wall of kneading tube for cam working elements. This will help to compensate acceptable manufacturing defects and inequalities. This will also compensate an unequal heat distribution and will reduce overpressure on the semi-finished product.

The mixing-fermentation-molding unit and dough machines of continuous action with the use of cam operating elements have been developed.

**Keywords:** *kneading, dough, mixing stage, intensity, component distribution, porosity, cam working element.*